

(63) 現場のパソコンを用いたPC斜張橋シム調整量 算定プログラムの開発

大成建設(株) 土木設計部
(株)ユニック 数値解析研究室

会員

イチハシ トシオ
市橋 俊夫
マエハラ タクヤ
前原 達也

1. はじめに

近年、益々PC斜張橋の施工件数が増加するのに伴い、構造形式、構造形状も多種多様化してきている。スパン比が極端に偏っているもの、複雑な平面形状を有するものを始め、鋼部材との合成構造、景観設計に基づいて決定された複雑な断面形状を有するもの等様々である。これらは電子計算機の発達により、設計計算時の解析は精度よく行われることが多いものの、施工誤差に対して極めて敏感な構造系であることを考えると、施工精度をより高いものへと向上させることが重要となる。

PC斜張橋の最終張力調整作業は、施工精度を左右する最終関門であり、従って設計計算において設定した状態へ近づけることを最優先すべき作業と考えられる。本論文は、PC斜張橋の張力調整量を上記目的の基に算定する理論、並びに作成したパソコン用プログラム、その実行例、およびパソコンを利用した場合のメリットを紹介するものである。

2. 開発の目的

PC斜張橋のシム調整量算定理論として、現在までに幾種類かの方法が提案されている。これらは(筆者の知る限りでは)何れも複雑な理論に基づいており、大型電算機を用いて解析することを前提としているものと思われる。これに対し、シム調整の目的を、設計計算において設定した状態に近づけることに帰着した場合、はるかに単純な方法で、妥当な調整量を算出することが出来る。従って、解析はパソコンで十分精度よく、かつ迅速に行うことができ、その結果以下のメリットが得られる。

(1) 現場のパソコンで実行すれば、直接施工に携わっている人の手で、納得の行く調整量を決定することが出来る。

(2) 現場～設計間のデータ受け渡し作業がなくなり、工程上のクリティカルパスとなる張力調整作業に対し、迅速に結論を出すことが可能となる。

従来、シム調整量の算定作業は設計者側が行ってきた。その際、算定結果に非現実的な値を含んでいることも多々あり、現場サイドが納得の行く調整量を提供することが難しかった。ところが(1)のメリットにより、誰もが納得の行く調整量を決定することが可能となる。(例えば、シム調整量5mmのために、多大な労働力をかけて重いジャッキを着け替える作業は、斜材長により無意味にも重要にもなる。この違いを判断するには、施工責任者が、5mmの調整を実行した場合と無視した場合の比較を電算上で行うことが、最も現実的な方法である。)また、(2)のメリットにより、データの受け渡しミスも解消される。

以上、パソコンで迅速、容易に、かつ十分な精度で、現実に即したシム調整量を算定することを目的として、本開発を行った。

3. シム調整量算定理論

本プログラムは、以下の2つの目標を満足すべく解析を行う。

- I. 斜材張力の誤差を許容範囲内に収める。-----メイン
- II. 主桁 Elevation の誤差を出来るだけ小さくする。-----サブ

全斜材の張力を許容誤差以内に収めるためのシム調整量の組み合わせは無数に存在する。逆に、斜材張力に対する制約を無視すれば、(主桁自身のたわみ剛性が許す範囲で)主桁の Elevation を如何様にもすることが出来る。ところが、両者を許容範囲内に収めるための解は、時には無数に存在し、時には全く存在しないため、単純な計算だけでは求めることが出来ない。そこで上記2つの目標に対し、Iをメイン、IIをサブと優先順位をつけることにより、解が1つだけ、しかも必ず存在する目的関数とすることが可能である。

具体的には以下の方法を採用した。まず斜材張力の許容誤差を α 、主桁の第*i*番節点の Elevation 誤差を Δh_i とする。全斜材の張力が α に納まるように調整した時の Δh_i の二乗和 $\Sigma (\Delta h_i)^2$ を求め、それぞれ α_1, Σ_1 とする。次に、 $\alpha_2 = \alpha_1 * 0.7$ と置き、 α_2 を満足するようにシム調整した時の $\Sigma (\Delta h_i)^2$ を Σ_2 とする。同様に $\alpha_n = \alpha_m * 0.7$ として Σ_n を求めて行き、最小の Σ を与えるシム調整量をもって解とするのである。つまり、張力誤差を狭めて行き、Elevation 誤差が最小となる状態を探るのである。従って、仮に施工誤差も材料定数の誤差も全く無い場合、算定解は、" $\alpha = 0$ かつ $\Sigma = 0$ "となる。図1に解析のフローを、図2にその概念図を示す。

次に斜材張力を許容誤差以内に収める方法を介绍する。第*i*番斜材に単位張力を導入した時の、第*j*番斜材の張力変化量を $TT(i, j)$ とする。この張力に関する影響マトリックスの要素は、一般的な斜張橋構造系においては、対角線が全て1、かつ対角線以外は全て $-1 < TT(m, n) < 1$ となる性質を持っている。すなわち、ある斜材に張力を導入した時、他の斜材の張力変化量は、必ず張力導入量よりも小さい。この性質を利用して、張力誤差を許容範囲内に収束させる方法を採用した。図3に、その具体的フローを示す。フローか

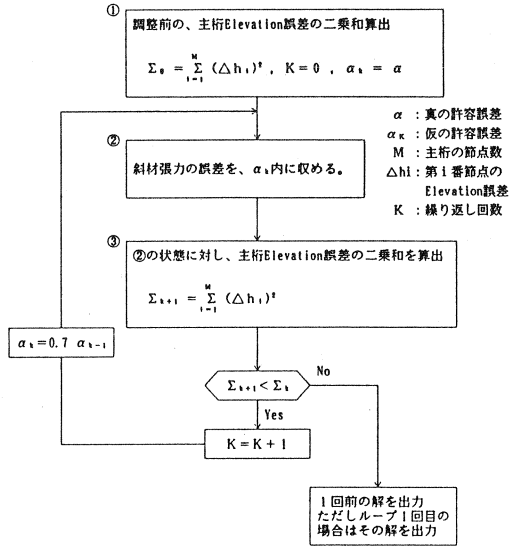


図1 シム調整量算出フロー

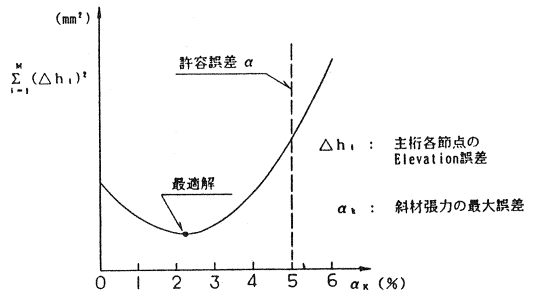


図2 最適シム調整量算定根拠概念図

らわかるように、許容範囲から逸脱している斜材を、許容誤差の80%に合わせて行く単純な方法である。しかしながら、確実に、しかも効率良く収束する。尚、80%という数値は、既設の斜張橋の影響マトリックスを数例調べ、最良の値として決定した。

この方法は、主桁がヒンジを含む構造系等の場合は $TT(m, n) > 1$ となり、発散する可能性がある。その場合には、影響マトリックスの逆行列を利用してシム調整量を算定する方法で代行する。

4. プログラムの内容紹介

本開発は、2つの独立したプログラムにより成り立っている。

- (A) 各種影響行列の算出
- (B) シム調整量の算定

パソコンは、演算速度、記憶要領の面から、大斜張橋の構造解析にはある程度の演算時間を要する。そこで影響行列算出プログラム(A)

によって予め構造解析を実施し、その結果として各種影響行列を記憶させておけば、シム調整量算定時には迅速に解を得ることができる。従ってこの作業は、事前に行う準備計算と言える。尚、影響行列としては、張力変化、主桁の変位、シム量変化、温度変化の4種類がある。

シム調整量算定プログラム(B)は以下の5項目に分類される。

- ① 目標張力の設定 : (A)と同様に事前実施しておく
- ② シム調整前の張力、Elevation誤差を入力: 測定時の温度も合わせて入力することにより、設計上の基準温度状態へ実測値を変換する作業も兼ねている。
- ③ 計算上最良のシム調整量の算定: 「3. シム調整量算定理論」において述べた方法により、シム調整量を算定する。
- ④ より現実に即したシム調整量へ修正: ③の結果を受けて、シム調整量をより現実的な値へ丸める作業を行う。これも③と同様に、結果が瞬時に表およびグラフに視覚化されるので、納得の行く結果が得られるまで繰り返すのに、さほど時間はかからない。
- ⑤ ①~④の出力: 任意の温度状態に対する出力が可能。

尚、本プログラムは平面フレーム解析をベースにしており、斜材本数90本、かつ主桁節点数90点まで解析可能である。また言語は、影響行列算出部分は"FORTRAN"、その他の部分は"BASIC"を使用している。

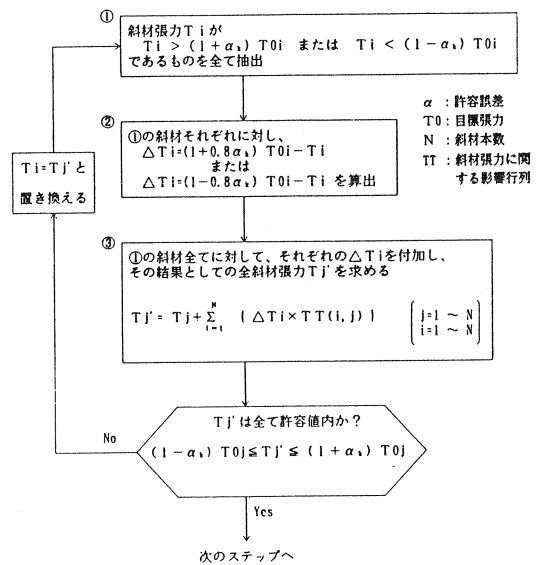
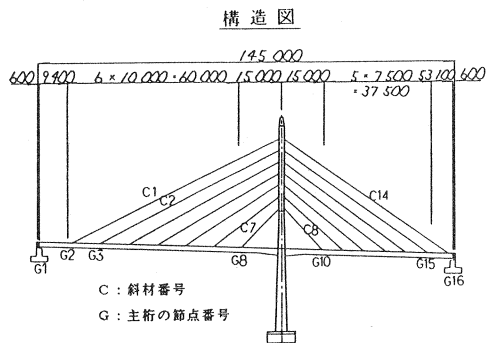


図3 張力を許容誤差内へ収束させる計算フロー

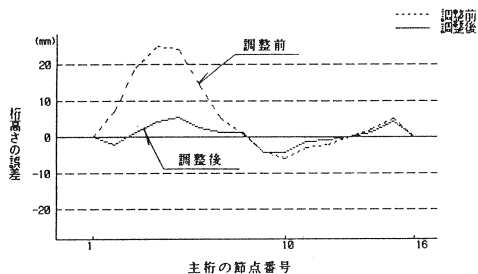
5. 実行例

図4に、本プログラムの実行例を紹介する。代表して、主な入力、出力部分のみを掲載してある。張力の誤差、主桁の Elevation 誤差双方に対し、良好な結果が得られている。

シム調整量、斜材張力に関する出力



主桁Elevation誤差のグラフ化



斜材番号	シム調整量(mm)		斜材張力 (ton)				
	最適解	修正解	目標張力	調整前張力	調整後張力	張力変化量	調整後の誤差 (%)
1	0.0	0.0	257.0	260.2	265.0	4.8	3.1
2	-16.0	-15.0	225.8	238.4	232.6	-5.8	3.0
3	-29.3	-30.0	227.8	265.8	233.8	-22.0	2.7
4	-24.2	-25.0	216.8	241.6	222.6	-19.0	2.7
5	-4.1	-5.0	206.0	207.3	210.8	3.5	2.3
6	5.4	5.0	172.2	157.0	171.8	14.8	-0.2
7	8.2	10.0	178.9	150.7	181.2	30.5	1.3
8	9.4	10.0	166.8	141.0	163.4	22.4	-2.0
9	11.6	15.0	171.6	147.5	173.0	25.5	0.8
10	0.0	0.0	220.2	216.6	214.5	-2.1	-2.6
11	-5.9	-5.0	221.5	235.3	226.8	-8.5	2.4
12	-15.2	-15.0	226.7	252.5	231.2	-21.3	2.0
13	-6.9	-5.0	257.4	271.3	264.6	-6.7	2.8
14	0.0	0.0	276.0	278.2	277.7	-0.5	0.6

修正解に対する値である。

6. おわりに

図4 プログラム実行例

本プログラムの開発により、シム調整量の算定作業が、よりスムーズに、より迅速に、かつ的確に行われるようになるものと確信している。しかしながら、今後の課題として以下の2点が残されている。

- (イ) 立体解析プログラムの作成：理論上は本プログラムと変わらないが、構造解析時のメモリー容量の問題を解決する必要がある。
- (ロ) シム量調整後の張力誤差が、過大側、または過小側へ偏った場合への対策：これはクリープ問題、応力解析等と関連づけて対処する必要があると同時に、許容誤差の設定そのものの問題でもある。

これらを解決すべく、今後も研究を進めて行く予定である。

[参考文献]

- 1) 藤澤：斜張橋架設時のシム量決定方法，橋梁と基礎（1984年9月，10月）
- 2) 古川，新井，春日：PC斜張橋の精度管理における斜材張力調整法に関する研究，PC技術協会第28回研究発表（1988年11月）
- 3) マカイア-，ギラガ-：マトリックス構造解析（川井，藤谷，都井 訳 丸善）